ESTIMATIVA DO POTENCIAL EÓLICO PARA ALGUMAS LOCALIDADES DO ESTADO DA PARAÍBA

Jose Jakson Amâncio ALVES1

RESUMO

Um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade contemporânea diz respeito à questão energética, vez que o seu consumo tem sido cada vez mais crescente e ainda prevalece uma grande dependência dos recursos não renováveis. Antevendo as graves conseqüências dessa dependência, defende-se a utilização de fontes de energia alternativas e renováveis. Dentre tais fontes uma tem recebido grande destaque: a energia eólica, notadamente por ser renovável, limpa e de custo baixo. O suprimento de energia vinda do Vento é verdadeiramente enorme. A Paraíba, assim como outras localidades do Brasil, possuem uma grande quantidade de pequenas e médias comunidades, que estão longe dos grandes centros urbanos, e não conectados à rede elétrica convencional, buscando na queima de combustível a sua produção de energia elétrica. Os locais para implantação de sistemas eólicos devem ser selecionados com bastante cuidado, principalmente com relação à energia eólica, para se ter certeza de que a melhor velocidade de vento foi encontrada em uma determinada área selecionada. O estado da Paraíba situa entre os meridianos de 34º 45' 54'' e 38º 45' 45'' a oeste de Greenwich, e os paralelos de 6º 02' 12'' e 8º 19' 18'' de latitude sul, no nordeste oriental do Brasil. As estações escolhidas para o presente trabalho, encontram-se na localidade das Mesorregiões: da Mata Paraibana (João Pessoa), Agreste Paraibano (Campina Grande), Borborema (Monteiro, Cariri Ocidental) e Sertão (Patos e São Gonçalo). O objetivo central desse trabalho é determinar a direção predominante do vento no estado da Paraíba e a potência para essa mesma direção, comparando o uso dos dois métodos escolhidos para o presente trabalho. Os método e técnicas são em determinar os parâmetros da distribuição de Weibull de acordo com os métodos dos momentos (MM) e dos mínimos quadrados (MQ) para o calculo da potência eólica correspondem à utilização dos dados horários de velocidade e direção dos ventos provenientes de registros de anemógrafos Universais, a 10 m de altura das 05 estações climatológicas, no período compreendido entre janeiro de 1977 e dezembro de 1981. Obtivemos como primeiro resultado, que a direção predominante nas localidades de Campina Grande, João Pessoa, São Gonçalo, Monteiro e Patos, foi a de Este, com uma velocidade média de 3,9 m/s. Com relação à potência eólica, Campina Grande foi a que apresentou a maior potência, com valor máximo no mês de novembro, com 62,6 W/m^2 e 59,9 W/m^2 conforme o método dos momentos (MM) e método dos mínimos quadrados (MQ), respectivamente. Em seguida vem Patos, com máximo igual a 59,4 W/m^2 (MM) e 57,4 W/m^2 (MQ). De uma maneira geral a densidade da potência eólica mensal (DPEM) calculada com os parâmetros obtidos segundo o MM resulta em valores superiores àqueles obtidos com o MQ, sendo que a única exceção foi registrada em São Gonçalo. Em virtude dos resultados obtidos foram extraídas as seguintes considerações: a direção predominante de vento nas localidades estudadas no estado da Paraíba como um todo é de Este, com as maiores médias de velocidade de vento ocorrendo entre primavera e verão e as menores médias entre outono e inverno; a distribuição de Weibull representou adequadamente a distribuição de freqüência de velocidade do vento; a distribuição da potência eólica das localidades estudadas evolui de zonas de baixas potencialidades, com valores da ordem de 0,11 W/m², até zonas de máximas potencialidades, com valores da ordem de 62 W/m².

INTRODUÇÃO

[1] Universidade Estadual da Paraíba, Professor Doutorando, josealvesamancio@bol.com.br.

Um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade contemporânea diz respeito à questão energética, vez que o seu consumo tem sido cada vez mais crescente e ainda prevalece uma grande dependência dos recursos não renováveis. Antevendo as graves conseqüências que essa dependência, defende-se a utilização de fontes de energia alternativas e renováveis. Dentre tais fontes uma tem recebido grande destaque: a energia eólica, notadamente por ser renovável, limpa e de custo baixo. Esta descoberta nunca foi tão importante quanto agora, quando se observa que a exploração da fonte de energia fóssil está afetando o ambiente do planeta.

Marques Júnior et al (1995) afirmaram que essa energia produzida pelos ventos, não exaurível e aparentemente ilimitada, destaca-se como uma alternativa de grande potencialidade.

O suprimento de energia vinda do Vento é verdadeiramente enorme. Dentre as fontes derivadas da luz do sol incidente sobre a Terra, o vento constitui uma fonte de energia natural, a partir da qual é possível produzir grandes quantidades de energia. A Paraíba e muitas outras localidades no Brasil possui uma grande quantidade de pequenas e médias comunidades, que estão longe dos grandes centros urbanos, e não conectados à rede elétrica convencional, buscando na queima de combustível a sua produção de energia elétrica. Muitos desses locais apresentam evidências para a penetração de turbinas eólicas para produção de eletricidade, irrigação, entre outros usos. Devido às características individuais de cada local, em termos da disponibilidade dos recursos eólicos e da demanda de energia elétrica, faz-se necessário analisar cada caso em particular.

O estudo das características do vento em um local em particular está relacionado aos seus potenciais para produção de eletricidade, com o objetivo de substituir ou complementar os sistemas convencionais. A análise da expansão, substituição ou implementação mais adequada é um problema típico de planejamento. As análises da expansão dos sistemas de potência de uma área isolada diferem daquelas dos grandes centros urbanos, uma vez que uma área isolada não tem a vantagem do fornecimento de energia por parte da rede elétrica convencional e interconexão com outros sistemas. Nesse sentido, é fundamental a combinação de fontes alternativas que possam ser utilizadas localmente. O planejamento adequado depende essencialmente das fontes disponíveis para a geração de eletricidade.

Os tipos de fontes disponíveis diferem de um local para local. Os locais para implantação de sistemas eólicos devem ser selecionados com bastante cuidado, principalmente com relação à energia eólica, para se ter certeza de que a melhor velocidade de vento foi encontrada em uma determinada área selecionada. Medidas das propriedades dos recursos eólico em uma localidade são importantes para evitar erros de projeto dos sistemas de geração a serem implantados no local.

No Brasil, algumas medidas de vento, realizadas em alguns pontos do território nacional em estudos conduzidos pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), indicam existir um imenso potencial ainda não explorado no nosso país. A nossa capacidade instalada é de apenas 20,3 MW, com turbinas eólicas de médio e grande porte conectado à rede elétrica. Neste ano 2005, segundo estimativas do Fórum Permanente de Energia Renovável, coordenado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, o país deverá ter 1.600 turbinas eólicas em funcionamento, cada uma delas com capacidade máxima de 600 kWh. Para que esse programa logre êxito, porém, é imperioso obter dados em maior quantidade e de melhor qualidade sobre o comportamento dos ventos, de forma a propiciar uma escolha adequada do tipo de turbina que proporcione o melhor rendimento energético em cada localidade identificada como detentora de bom potencial eólico, e que esteja à altura das condições sócio-econômicas do país.

O estado da Paraíba situa entre os meridianos de 34º 45’ 54’’ e 38º 45’ 45’’ a oeste de Greenwich, e os paralelos de 6º 02’ 12’’ e 8º 19’ 18’’ de latitude sul, no nordeste oriental do Brasil, limitando-se ao norte com o estado do Rio Grande do Norte, ao sul com o estado de Pernambuco, ao oeste com o Ceará, e ao leste com o oceano atlântico. A maior extensão é

na direção leste-oeste, com uma distancia angular de 3 59 51 e uma distância linear de 443 Km. A distancia angular na direção norte-sul é de 2 17 06 medindo linearmente 253 Km de extensão. A área do estado é de 56.372 Km² ficando situado praticamente no que se convenciona chamar de "polígono das Secas" do qual a Paraíba a nível de Nordeste ocupa 5,88%, ou seja, 97,78 % do seu território, e apenas 2,22 (1.240,18 Km²) ficam nas áreas úmidas e sub-úmidas. As estações escolhidas para o presente trabalho, encontram-se na localidade das Mesorregiões: da Mata Paraibana (João Pessoa), Agreste Paraibano (Campina Grande), Borborema (Monteiro, Cariri Ocidental) e Sertão (Patos e São Gonçalo). Como de fato a análise geomorfológica é de fundamental importância para a análise do potencial eólico, já que o gradiente vertical do vento varia com a altitude, pressão e temperatura, essas localidades escolhidas do estado se encontram nas seguintes unidades morfológicas distintas: Baixada Litorânea e Baixos Platôs Costeiros (Tabuleiros) – João Pessoa; Planalto da Borborema (Frentes do Planalto) – Campina Grande, (Superfície do Planalto ou dos Cariris) – Monteiro; Depressões Sertanejas (Superfície de pediplanação com pequenos inselbergues) – Patos, (Bacia Sedimentar Cretácica) – São Gonçalo.

Para este estudo foram utilizados registros de velocidades médias horárias do vento obtidas a 10 m de altura, em 05 estações climatológicas pertencentes à Rede de Estações Meteorológicas de Superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo principal à estimativa da potência eólica da direção predominante dos ventos medidas em 05 Estações Climatológicas da Paraíba no período de 1977 – 1981.

MÉTODOS e TÉCNICAS

Os dados que serviram de base para o presente estudo, consistem de velocidade e direção horários do vento provenientes do registro de anemógrafos Fuess. Foram consideradas todas as medições obtidas no período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981. A relação de todas es estações estudadas, com os códigos, altitude e coordenadas geográficas correspondentes, se encontra representada no Quadro 1.

Quadro 1 - Estações climatológicas da Paraíba com registros anemográficos no qüinqüênio 1977 – 1981

Código	Estação	Latitude (S)	Longitude (W)
	PARAÍBA		
82689	São Gonçalo	6º 45'	38º 13'
82791	Patos	7º 00'	37º 16'
82792	Monteiro	7º 53'	37º 07'
82795	Campina Grande	7º 13'	35º 53'
82798	João Pessoa	7º 07'	34º 53'

O elemento sensível dos anemógrafos situava-se a 10 m da superfície e proporcionou a obtenção das seguintes informações:

a. direção horária predominante do vento em graus;

b. velocidade média horária do vento.

Nos arquivos de dados do DCA – UFCG, os dados de velocidade estão nas unidades de m/s e foram consideradas, para fins de identificação da direção horária predominante, oito faixas centradas nas direções que se encontram na figura 1. Cada faixa corresponde a 45° e nesse sentido a direção Norte compreende os ventos com direções entre 337,5° a 360° e de 0° a 22,5°, como pode ser observado no quadro 2.

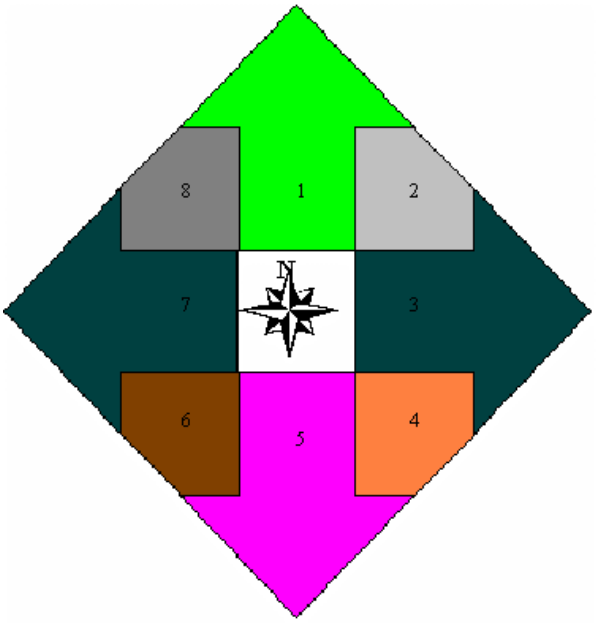

Figura 1 – Rosa-dos-Ventos para determinação da direção horária predominante do vento

Quadro 2 – Codificação usada na classificação da direção horária predominante

Identificação	Denominação	Direção	Identificação	Denominação	Direção
1	Norte	337,5° - 22,5°	5	Sul	157,5° - 202,5°
2	Nordeste	22,5° – 67,5°	6	Sudoeste	202,5° - 247,5°
3	Leste	67,5° - 112,5°	7	Oeste	247,5° -337,5°
4	Sudeste	112,5° - 157,5°	8	Noroeste	337,5° - 22,5°

Um programa em Fortran 90 foi desenvolvido para gerar a distribuição de freqüências associada a cada uma das direções consideradas no Quadro 2.2. Assim, foi possível identificar a direção predominante de cada localidade e mês, bem como a freqüência relativa associada a tal direção. Uma vez identificado à direção predominante de cada estação climatológica, passou-se à fase do cálculo da potência eólica correspondentes apenas àquela direção predominante.

O Modelo de Weibull

A distribuição de Weibull tem sido utilizada em inúmeros estudos destinados à análise de freqüência da velocidade do vento, bem como na identificação do potencial eólico.

De várias áreas do planeta (Hennessey, 1977; Justus et al, 1978; Bandeira, 1990; Souza e Granja, 1997; Torres et al, 1999; Silva et al, 2001; e outros).

De um modo geral, uma variável aleatória x, contínua e independente, distribui-se segundo o modelo de Weibull, se a função de densidade de probabilidade for do tipo:

$$f(x) = \left(\frac{a}{b}\right)\left(\frac{x}{b}\right)^{a-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^{a}\right] \qquad (1)$$

Onde a é o parâmetro de forma (adimensional) e b é o fator de escala (dimensão de velocidade), ambos positivos.

Por definição, a função de distribuição, F(x), associada a um modelo probabilístico cuja variável aleatória seja positiva, esteja definida no intervalo [0 – ∞] e tenha fdp igual a f(v), é dada por:

$$F(x) = \int_0^x f(v)dv \tag{2}$$

Que corresponde à probabilidade de ocorrência de valores inferiores ou iguais à x. Portanto, para a distribuição de Weibull, a função de distribuição correspondente é dada por:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right] \tag{3}$$

Que é obtida ao se integrar à equação 1 através da substituição de x/b por u.

Nesta pesquisa estimou-se o parâmetro do modelo Weibull segundo os métodos dos mínimos quadrados (ou método gráfico) e dos momentos, descritos abaixo.

Método dos Mínimos Quadrados (Método Gráfico)

É o método que tem sido mais amplamente utilizado, principalmente antes da utilização massiva de microcomputadores. Considere-se a função:

$$1 - F(x) = \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right] \tag{4}$$

Onde F(x) é a função de distribuição associada ao modelo de Weibull. Ao se aplicar o logaritmo a ambos os lados da equação acima, obtém-se:

$$\ln\left[1 - F(x)\right] = -\left(\frac{x}{b}\right)^a \tag{5}$$

Multiplicando-se o resultado por –1 e repetindo-se o mesmo procedimento, obtém-se:

$$\ln\{-\ln[1 - F(x)]\} = -a.\ln(b) + a.\ln(x) \tag{6}$$

O procedimento de cálculo dos valores de a e b, a partir desta etapa, consiste em se considerar uma equação do tipo: $Y = a_o + b_o X$, ou seja, uma equação do primeiro grau, em que $a_o = -a.\ln(b)$, $b_o = a$ e $X = \ln(x)$.

Considere-se, ainda, que uma dada amostra de velocidades do vento média horária, seja constituída dos valores x_1, x_2,... , x_n; e seja K(x), a função de distribuição empírica (freqüência Kimbal) associada à referida amostra. Desta forma, ao admitir-se que os valores amostrais podem ser representados por uma distribuição de Weibull, cujos parâmetros deseja-se obter faz-se simplesmente F(x) = K(x). Desta feita, o problema da determinação de a e b, reduz-se à determinação dos coeficientes linear e angular de uma reta de regressão de mínimos quadrados.

Método dos Momentos

Consiste em se obter os momentos de primeira [E(x)] e segunda [E (x2)] ordens, centrados na origem, associados ao modelo de Weibull. Para o referido modelo, E(x) e $E(x^2)$ são dados por:

$$E(x) = b.\Gamma(1 + 1/a) \tag{7}$$

e

$$E(x^2) = b^2.\Gamma(1 + 2/a) \tag{8}$$

Por sua vez, sabe-se que a variância de x, por definição, é dada por $E(x^2) – [E(x)]^2$, o que resulta em termos, para a distribuição de Weibull, a seguinte igualdade:

$$Var(x) = a^2.[\Gamma(1+2/a) - \Gamma^2(1+1/a)] \quad (9)$$

Onde $\Gamma(z)$, refere-se à função matemática gama, cuja solução pode ser aproximada por polinômio (Abramowitz & Stegun, 1972).

Extraindo o valor de b da equação (7), considerando que E(x) = xm e Var(x) = s^2, ou seja, admitimos que a média aritmética amostral e o desvio padrão ao quadrado, são estimadores da esperança matemática e da variância da distribuição de Weibull, tem-se que:

$$s^2 = xm^2\left(\frac{\Gamma(1+2/a)}{\Gamma^2(1/1/a)} - 1\right) \quad (10)$$

O problema que se apresenta agora é o de se identificar a para o qual a igualdade acima é satisfeita. Como se pode observar, para cada valor de a na equação acima, tem-se um resultado diferente. Assim, pode ser definida uma função, dada por:

$$f(a) = s^2 - xm\left(\frac{\Gamma(1+2/a}{\Gamma^2(1+1/a)} - 1\right) \quad (11)$$

Logo, o problema agora se reduziu apenas à *obtenção da raiz de uma equação*. Mais uma vez, foi utilizado o programa em Fortran 90, destinado à determinação de a. Em seguida, com a equação 7, fez-se a determinação de b, isto é, depois de feita a determinação de $\Gamma(1+1/a)$ usando o polinômio referido anteriormente.

Cálculo da Potência Eólica

Para o cálculo da densidade de potência eólica média foram considerados os parâmetros da distribuição de Weibull, obtidos pelos dois métodos já mencionados e a freqüência relativa correspondente à direção predominante do vento em cada uma das 05 estações climatológicas incluídas no estudo. Com tais informações, obteve-se a densidade de potência média horária em W/m², segundo a expressão:

$$P = \frac{1}{2}.\rho.E(x^3).fr(d) \quad (12)$$

Onde ρ é a massa específica do ar úmido (1,15 $kg.m^{-3}$), fr(d) é a freqüência relativa correspondente à direção predominante do vento e $E(x^3)$ é o terceiro momento centrado na origem, que para a distribuição de Weibull é igual a:

$$E(x^3) = b^3.\Gamma(1+3/a) \quad (13)$$

Onde a e b são os parâmetros de Weibull e Γ é a função matemática gama.

RESULTADOS

Análise da velocidade média e direção predominante

Os dados correspondentes à direção predominante dos ventos de cada uma das 05 estações selecionadas para o estudo, se encontram representados na Tabela 1. Para tanto, foram consideradas todas as medições da velocidade média horária e direção correspondente. Obteve-se, ainda, a velocidade horária média anual (VMA), ou seja, a média aritmética de todas as medições da velocidade do vento para todos os meses do ano e período analisado. Após a identificação da direção predominante (DP) de cada mês, procedeu-se à identificação da DP anual, ou seja, daquela que ocorre com maior freqüência

ao longo do ano. Nos casos em que ocorreram empates no número de meses associados às direções predominantes, escolheu-se como DP anual aquela detentora da maior velocidade média.

De uma maneira geral foram registradas DP mensais correspondentes aos quadrantes Nordeste, Este, Sudeste. Monteiro apresentou direção muito variável, mas com predominância de Nordeste em sete meses do ano. Observou-se um comportamento relativamente homogêneo na distribuição das velocidades VMA e VDP ao longo das estações. A média da VMA no Estado para o período estudado foi de 2,7 m/s, onde a velocidade média maior se encontra na estação de Campina Grande com um vento médio de 3,1 m/s, e a menor velocidade na estação de São Gonçalo com um vento médio de 2,5 m/s. Ainda com relação à DP, observou-se que em Campina Grande, Patos e São Gonçalo a direção predominante anual foi 3 (Este), enquanto que João Pessoa apresentou a direção 4 (Sudeste) e Monteiro a direção 2 (Nordeste). No Estado como um todo a direção predominante foi a 3 (Este). É importante observar que a velocidade média da direção predominante do Estado foi de 3,9 m/s, sendo superior à velocidade média anual de todas as estações, que foi de 2,7 m/s.

Diante do exposto, o conhecimento da direção predominante permite avaliar melhor o potencial eólico da região, seja em virtude das variações associadas à freqüência do vento, seja face às variações de direção. Porém, o rendimento esperado por uma máquina eólica fixada a partir da direção predominante escapa aos objetivos do presente trabalho.

Tabela 1 - Distribuição estacional da direção predominante do vento, da velocidade horária média anual (VMA), da velocidade horária média dos meses da ocorrência da direção predominante anual (VDP) e direção predominante anual (DP).

Estação	Direção predominante do vento												VMA (m/s)	VDP (m/s)	DP
	J	F	M	A	M	J	J	A	S		N	D			
PARAÍBA															
São Gonçalo	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2,5	3,6	3
Patos	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	2,8	4,2	3
Monteiro	2	2	2	2	4	4	4	4	3	2	2	2	2,6	3,5	2
Campina Grande	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3,1	4,3	3
João Pessoa	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	2,6	3,9	4

Souza & Granja (1997) estudando o comportamento mensal dos ventos em Campo Grande - MS, encontraram ventos predominantes de Leste, com ocorrência de Norte nos meses de janeiro a dezembro, cujos valores anuais resultaram em 24% de Leste, 19,8% de Norte e 12,2% de Nordeste, tendo as calmarias representado 12%.

Observa-se então que o conhecimento do regime de vento é fundamental para se estimar o possível aproveitamento do vento como energia alternativa. É importante lembrar que sendo a velocidade do vento uma variável aleatória, deve-se salientar a ocorrência de variabilidade mensal, nos valores médios estimados dentro de uma série de anos (Alves, 2001).

Análise dos parâmetros da distribuição de Weibull e da potência eólica produzida

Uma vez determinada à direção predominante do vento de cada estação, procedeu-se a separação dos dados da velocidade horária média correspondente à direção predominante, mês a mês, o que resultou em doze amostras mensais por localidade.

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados dos parâmetros de Weibull obtidos com os métodos MM e MQ.

Como forma de possibilitar uma exploração mais ampla dos resultados da pesquisa foi elaborado a Tabela 2 que contém a média e o desvio padrão da velocidade horária da direção predominante, bem como, os parâmetros de Weibull obtidos pelos métodos dos momentos e gráfico além da densidade de potência média (W/m²) associada a cada método.

Tabela 2 (2.1; 2.2; 2.3; 2.4 e 2.5) – Média e desvio padrão da velocidade horária da direção predominante, coeficientes de forma (a) e escala (b) em m/s de Weibull segundo o Método dos Momentos (MM) e o Método Gráfico (MQ), e densidade de potência eólica média (W/m²) em PMM e PMQ, por mês.

2.1 - São Gonçalo

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,457	1,023	3,773	3,827	8,165	3,870	3,909	8,654
2	3,195	1,087	3,230	3,566	5,538	3,104	3,708	6,315
3	3,113	0,93	3,733	3,447	3,416	3,850	3,526	3,630
4	2,900	0,869	3,721	3,213	2,227	3,539	3,284	2,408
5	3,244	0,894	4,084	3,575	1,755	2,952	3,648	2,050
6	3,463	0,911	4,299	3,804	2,660	4,136	3,828	2,727
7	3,591	1,004	4,019	3,961	3,258	4,467	3,996	3,291
8	3,886	0,984	4,482	4,260	6,895	3,021	4,536	9,190
9	3,986	1,111	4,034	4,396	16,309	3,616	4,456	17,387
10	4,024	1,040	4,386	4,416	19,229	4,675	4,487	20,021
11	3,806	1,057	4,048	4,196	16,328	3,597	4,228	17,143
12	3,766	0,982	4,341	4,135	13,497	4,629	4,295	15,001

2.2 - Patos

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4,225	1,389	3,354	4,706	25,832	3,640	4,712	25,339
2	4,074	1,516	2,922	4,567	24,545	3,210	4,489	22,440
3	3,555	1,237	3,149	3,972	11,725	3,356	4,079	12,424
4	3,458	1,161	3,278	3,857	8,976	3,478	3,827	8,608
5	3,651	1,180	3,419	4,063	10,955	3,630	4,020	10,442
6	3,792	1,258	3,322	4,226	10,512	3,452	4,200	10,195
7	4,118	1,241	3,698	4,564	14,389	3,401	4,497	14,086
8	4,455	1,326	3,750	4,933	27,532	3,847	4,880	26,500
9	4,926	1,398	3,954	5,439	43,716	4,100	5,349	41,302
10	5,005	1,378	4,090	5,515	59,399	3,936	5,440	57,415
11	4,652	1,444	3,579	5,164	45,311	3,855	5,101	42,906
12	4,469	1,382	3,593	4,960	35,641	3,902	4,896	33,630

2.3 - Monteiro

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,554	1,358	2,836	3,989	22,730	2,580	3,900	22,366
2	3,253	1,288	2,725	3,656	14,700	2,566	3,551	13,941
3	3,004	1,304	2,459	3,387	9,423	2,295	3,322	9,351
4	2,735	1,132	2,593	3,079	5,052	2,848	3,092	4,863
5	2,561	0,982	2,826	2,876	0,997	2,783	2,854	0,982
6	2,628	1,029	2,760	2,953	1,337	2,801	2,940	1,310
7	4,028	0,501	9,622	4,241	0,108	5,789	4,316	0,113
8	2,861	1,215	2,521	3,224	1,242	2,280	3,215	1,324

9	3,535	1,191	3,264	3,943	4,286	2,859	3,971	4,618
10	4,230	1,305	3,602	4,695	23,255	2,783	4,695	25,610
11	4,418	1,365	3,596	4,903	41,321	3,709	4,867	40,103
12	4,006	1,310	3,374	4,461	31,435	2,887	4,388	31,763

2.4 - Campina Grande

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	4,536	1,288	3,952	5,008	40,888	3,895	4,955	39,739
2	4,375	1,357	3,582	4,856	39,214	3,709	4,766	36,739
3	4,073	1,342	3,348	4,538	26,184	3,355	4,434	24,404
4	3,626	1,177	3,404	4,036	15,157	3,410	3,952	14,229
5	3,425	1,128	3,349	3,815	8,860	3,449	3,762	8,419
6	3,434	1,212	3,098	3,839	7,397	2,710	3,857	7,980
7	3,666	1,163	3,490	4,075	6,976	3,424	3,987	6,571
8	4,094	1,210	3,780	4,532	13,169	3,099	4,452	13,257
9	4,486	1,213	4,170	4,938	28,343	3,956	4,874	27,521
10	4,752	1,178	4,592	5,201	50,392	3,731	5,233	53,131
11	4,760	1,135	4,789	5,198	62,592	5,139	5,131	59,889
12	4,577	1,176	4,411	5,022	52,720	4,654	5,009	51,998

2.5 - João Pessoa

Mês	Media	Desvio	a	b	PMM	a	b	PMQ
1	3,764	0,929	4,613	4,119	18,787	4,425	4,051	17,962
2	3,964	1,204	3,666	4,395	19,522	3,381	4,353	19,393
3	3,691	1,049	3,947	4,076	10,218	2,869	4,134	11,807
4	3,731	1,122	3,704	4,134	15,780	3,360	4,090	15,694
5	3,605	1,295	3,039	4,035	17,286	3,118	3,943	15,970
6	4,159	1,383	3,313	4,635	19,967	3,409	4,500	18,099
7	4,229	1,515	3,048	4,732	25,143	3,161	4,619	23,055
8	4,236	1,315	3,576	4,703	21,829	3,957	4,718	21,544
9	4,386	1,292	3,792	4,854	28,354	3,807	4,802	27,424
10	4,084	1,041	4,454	4,479	32,140	4,193	4,558	34,171
11	4,025	0,905	5,107	4,378	22,644	4,206	4,449	24,273
12	4,071	1,081	4,256	4,476	27,777	3,784	4,432	27,549

Quadro 3 – Síntese: Maior e Menor Potência das Localidades em que foi aplicado os dois Métodos

Localidade	PMM*	PMQ*	PMM**	PMQ**
São Gonçalo	19,229	20,021	1,755	2,050
Patos	59,399	57,415	8,976	8,608
Monteiro	41,321	40,103	0,997	0,113
Campina Grande	62,592	59,889	6,976	6,571
João Pessoa	32,140	34,171	10,218	11,807

* Maior potência apresentada pelo método. **Menor potência apresentada pelo método

Dando ênfase as localidades estudadas do estado da Paraíba, Campina Grande foi a que apresentou a maior potência eólica mensal, com 62,592 W/m² (novembro) pelo método dos momentos, seguido de Patos com 59,399 W/m² (outubro), e com máximo mensal de 41,321 W/m² (novembro) veio à cidade de Monteiro. Apenas São Gonçalo (19,229 W/m²/outubro) e João Pessoa (32,140 W/m²/Outubro) não apresentou resultados satisfatórios pelo método dos momentos, porém, esses valores não ficaram muito distantes dos valores do método dos mínimos quadrados. Ver quadro 3 e figura 2, respectivamente.

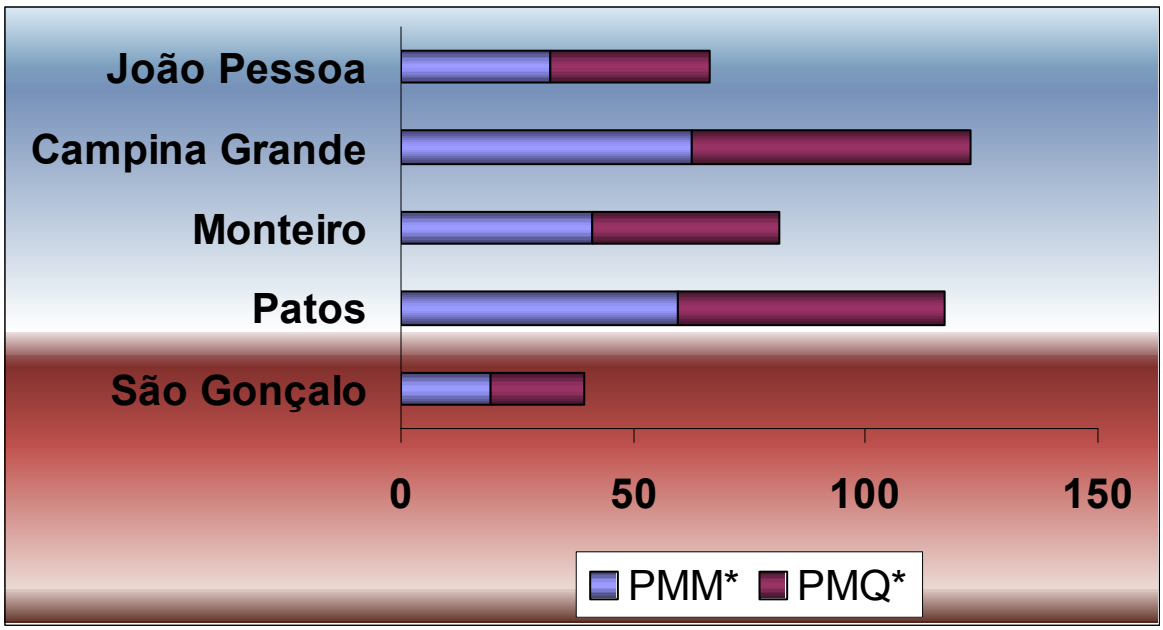

Figura 2 – Potencial eólico máximo produzido pelo dois métodos trabalhados

Podemos deduzir pela análise da figura 2(acima) que a melhor potência foi identificada pelo método dos momentos, com 60% sobre o método dos mínimos quadrados para as maiores potências registradas. E nas suas duas únicas exceções a diferença não ultrapassou 3 W/m².

Com relação aos valores mínimos de potência encontrada, foi registrado em Monteiro (0,113 W/m²/julho) pelo método dos mínimos quadrados, seguido respectivamente de São Gonçalo (1,755 W/m²/maio) pelo método dos momentos; Campina Grande (6,571 W/m²/julho) pelo método dos mínimos quadrados; Patos (8,608 W/m²/abril) pelo método dos mínimos quadrados; e João Pessoa com 10,218 Wm² (março) pelo método dos momentos. Ver figura 3.

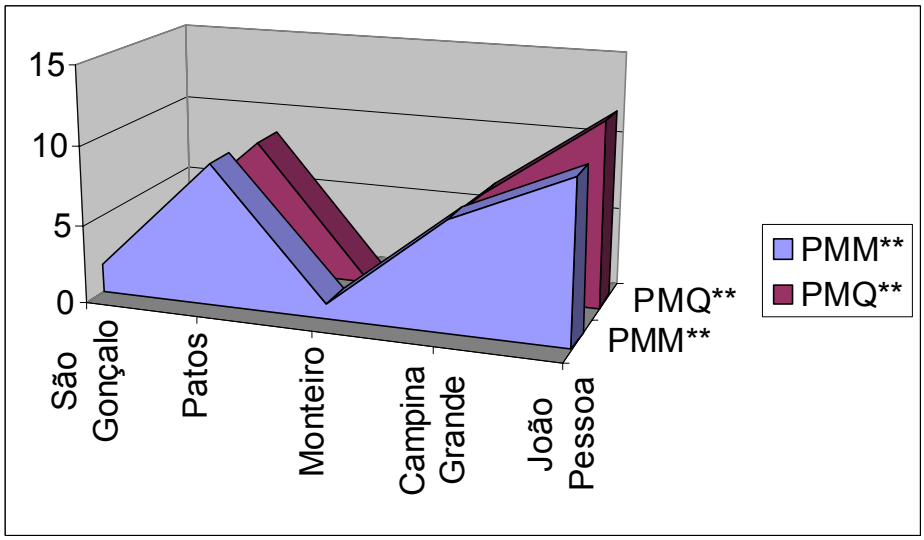

Figura 3 – Potencial eólico mínimo produzido pelo dois métodos trabalhados

Em relação aos valores de potência mínima, ocorre o inverso de predominância do método, sendo os dos mínimos quadrados representando 60% sobre o método dos momentos. É bom também novamente frisar que em nenhum momento as diferença entre ambos os métodos ultrapassam a amplitude de 3 Wm².

Em virtude dos resultados obtidos com a presente pesquisa foi extraídas as seguintes considerações:

A direção predominante do vento na Paraíba como um todo é de Leste**,** com as maiores médias de velocidade de vento ocorrendo entre primavera e verão e as menores médias entre outono e inverno.

A distribuição da potência eólica na Paraíba evolui de zonas de baixas potencialidades, como Monteiro, com valores da ordem de 0,113 W/m², até zonas de máximas potencialidades, como Campina Grande, com valores da ordem de 62,592 W/m^2

Considerando estes resultados recomenda-se que:

Estudo mais preciso do regime de vento com sensores em vários níveis e o processamento automatizado das informações;

Instalação de sensores no litoral oriental nas proximidades do oceano. Isso é fundamental para a análise da potência eólica dessa faixa do litoral, pois os dados obtidos por esse e outros trabalhos sobre a potência eólica, apresentam baixa potencialidade como característica nessa região, o que contradiz a experiência local já que nesses locais os ventos são de alísios, ocorrendo isso, porque a localização das estações de medição do vento sofre a influência de espigões ou do relevo, que funciona como barreiras, se encontrando praticamente em toda área da planície litorânea (orla marítima) do litoral oriental (pesquisa in loco), o que poderá vir a enfraquecer esses ventos produzindo medições muito baixas, diminuindo a potência eólica dessa região;

Avaliar a potência eólica por direção prevalecente de cada mês. As medidas obtidas com esse critério poderão ser sensivelmente maiores em todas as regiões energéticas da Paraíba, em particular na região litorânea;

d)Analisar a energia produzida por diversos tipos de aerogeradores fixos a partir da potência eólica encontrada, para identificar o que melhor se adapta a condição de regime de vento e da real potencialidade de energia eólica do Nordeste do Brasil.

REFERÊNCIAS

ALVES, Jose Jakson Amancio. **Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste do Brasil**. Campina Grande. Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal da Paraíba, Dissertação (Mestrado em Meteorologia), 125p, 2001.

CBEE, from Recife: Centro Brasileiro de Energia Eólica. Disponível em: <http://www.eolica.com.br>. Acesso em: 09 mar. 2004.

CBEE, from Recife: Centro Brasileiro de Energia Eólica. Disponível em: <http://www.eolica.com.br>. Acesso em: 23 mar. 2005.

MARQUES JÚNIOR, S; VALADÃO, L. T; VIEIRA, A. R. R; MOURA, M. V. T. Análise e dados de vento para a região de Botucatu – SP utilizando a distribuição beta. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, p. 129 – 132, 1995.

SOUZA, A; GRANJA, S. C. Estimativa dos parâmetros “C” e “K” do modelo de Weibull e da direção dos ventos para Campo Grande e Dourados/MS, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n.1, p. 109 – 114, 1997.